

## **RELACIÓN ENTRE LOS COSTOS RELATIVOS DE VIVIENDAS SUSTENTABLES Y SU FORMA**

**Alfredo Esteves y Daniel Gelardi**

DICYTyV

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
y Vinculación – Universidad de Mendoza

### **RESUMEN**

La economía de los recursos en edificios, depende de la forma del mismo. Por otro lado, la economía en el costo monetario de los materiales utilizados es algo que debe estar presente en toda construcción edilicia. Las decisiones arquitectónicas respecto a la economía de recursos materiales, la energía demandada durante la construcción (a través de los materiales utilizados) y su costo monetario, constituyen una combinación de factores que están presentes posteriormente durante toda la vida útil del edificio y son un conjunto de decisiones que deben decidirse durante la etapa de proyecto del mismo. Se ha estudiado la variabilidad de los costos relativos de construcción de dos casos típicos de viviendas sustentables, así, en el momento de realizar el proyecto conocer cómo optimizarlo. Las conclusiones indican que: en el caso de querer disminuir costos de las viviendas, no tiene caso trabajar disminuyendo la superficie cubierta, sino más bien, sobre los planos verticales, que son en cualquier caso los que tienen mayor incidencia (alrededor del 40% de los costos relativos). Por otro lado, disminuir la superficie cubierta, no sólo produce un aumento del costo específico por unidad de superficie, sino que la incidencia de los planos horizontales no es tan importante (del 29 al 34%), incrementándose la participación de la instalaciones en el costo final.

### **PALABRAS CLAVES**

Arquitectura sustentable, costos relativos, eficiencia de la forma.

### **1.- INTRODUCCIÓN**

Edwards, 2006 indica las medidas para mejorar la eficiencia energética en viviendas existentes dado que el aumento del parque de viviendas aumenta sólo a un ritmo del 2% anual, hablando del caso de Inglaterra y el objetivo marcado

de reducir el 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> antes de 2020, sólo podría cumplirse si se logra un mayor conocimiento y conciencia respecto del reciclaje edilicio. Indica también que el reciclaje se debería orientar hacia una mayor conservación de energía, es decir, la colocación de aislantes en muros, refuerzo de aislación térmica en techos, instalación de ventanas con DVH o con vidrios de baja emisividad y la protección contra las infiltraciones de aire y todas estas medidas combinadas con sistemas de regulación para el sistema de calefacción, pueden en conjunto reducir hasta el 60% del consumo de energía.

En la enseñanza de la arquitectura sustentable, hay tres principios fundamentales hacia los cuales se debe poner énfasis de manera de tratar que el impacto de los edificios proyectados sea mínimo - Kim J. et al. (1998):

- **La economía de recursos** se refiere a considerar la reducción, la reutilización, y/o el reciclaje de los recursos naturales que ingresan al edificio.
- **Diseño del ciclo de vida** proporciona una metodología para analizar el proceso del edificio y su impacto en el ambiente.
- **Diseño humano** se centra en tener en cuenta al futuro usuario del edificio.

La aplicación de estos principios implica tener un amplio conocimiento de las consecuencias para el medio ambiente, ya sean locales o globales, del hecho arquitectónico. La economía de los recursos utilizados es una estrategia que depende de las posibilidades que otorga la forma del edificio y la utilización de los mismos para evitar excesivos recortes inútiles.

Por otro lado, la economía en el costo monetario de los materiales utilizados es algo que está presente en toda construcción edilicia. Las decisiones arquitectónicas respecto a la economía de recursos materiales, la energía demandada durante la construcción (a través de los materiales utilizados) y su costo monetario, constituyen una combinación de factores que están presentes posteriormente durante toda la vida útil del edificio y son un conjunto de decisiones que deben decidirse durante la etapa de proyecto del mismo. La idea sustentada aquí es que tales conocimientos deben ser material para el proceso proyectual, de manera que el diseño del edificio resulte un diseño racional, controlado y estético.

La economía es una ciencia exacta y como tal, los conceptos para ser aplicados en arquitectura deben adaptarse para su mejor comprensión.

En Mascaró, 1999, se indican los costos relativos de cada rubro en relación al total como valores necesarios para tomar en consideración, aspectos

económicos durante la etapa del proyecto. En el mismo, se plantea también, agrupar los costos en: planos horizontales, planos verticales, instalaciones y otros. Esta forma de agruparlos permite evaluar más fácilmente el proyecto más económico.

Se han estudiado los costos relativos de los planos verticales, horizontales, instalaciones y otros costos y se los ha relacionado a la forma a través del FAEP - Factor de Area Envolvente Piso – Esteves et al. (1997). El costo energético de edificios se estudia a través del análisis del ciclo de vida (ACV), sin embargo, se plantea estudiar la variabilidad de los costos monetarios en función de la forma edilicia, para edificios ya diseñados desde el punto de vista energético, pero sin olvidar que el ahorro de materiales implica un ahorro energético consecuente (Turuégano Romero, 2007).

### **1.1.- Valores de los costos de los elementos de un edificio**

Los costos de los elementos (piso, techo, ventanas, muros, etc) de edificios sustentables, normalmente son mayores que los costos de sus homónimos tradicionales. Esto es debido fundamentalmente a la conservación de energía por un lado y al aprovechamiento de energías renovables por otro, que incrementa los elementos incluidos en la construcción de muros y techos (aislamiento térmico con sus correspondientes capas de protección mecánica – Esteves et al (2006) y de ventanas (doble vidriado hermético o protecciones exteriores como postigotes, persianas, pérgolas y/o burletes o contactos para disminuir los intercambios de calor por infiltración).

Este aumento de costos se encuentra en un porcentaje que oscila entre un 5 y un 10% adicional al costo del edificio tradicional dependiendo del nivel de terminaciones del mismo. Tomando los precios de Enero 2012 en el mercado argentino, se indican los costos de los elementos.

#### *1.1.1.- Costos de las cubiertas de techo*

Los costos de los techos varían en función de los materiales utilizados y también conforme a la estructura de soporte.

Cuatro casos son los más frecuentes en el Centro-Oeste de Argentina:

- 1) Losa alivianada conformada por viguetas y losetas cerámicas huecas, con capa de compresión, película hidrófuga, aislamiento térmico y mortero alivianado para dar pendiente necesaria para evacuar el agua de lluvia. Costo: \$ 495.2 (U\$S 107.6) - incluyendo el chicoteado,

aplicado de yeso por debajo y aislamiento térmico e hidrófugo por encima.

- 2) Losa de hormigón armado, llenada in situ, luego los mismos materiales que la losa alivianada. Costo \$ 516.5/m<sup>2</sup> (U\$S 112.3) - incluyendo aislamiento térmico e hidrófugo y yeso aplicado por el interior.
- 3) Techo de madera, correas y machimbre, lámina hidrófuga, aislamiento térmico con listones, mortero hormigón alivianado y chapa trapezoidal de acero. Costo: 390.5 (U\$S 84.9).-

El costo de las losas intermedias en un edificio es de: \$ 473.1 (U\$S 102.8).

#### *1.1.2.- Costo de los cerramientos verticales*

Las paredes más comunes en edificaciones residenciales son ejecutadas, con ladrillos macizos (tipo ladrillón mendocino), dado su menor costo, sin embargo, podemos tomar en cuenta otros cerramientos posibles en la zona, bloques de hormigón, ladrillos cerámicos o de bloques de hormigón celular.

Mampostería de ladrillón:	203.8/ m <sup>2</sup> (U\$S 44.3/m <sup>2</sup> )
Mampostería de bloques:	\$ 283.1/ m <sup>2</sup> (U\$S 61.5/m <sup>2</sup> )
Mampostería de 0.10:	\$ 130.4/ m <sup>2</sup> (U\$S 28.3/m <sup>2</sup> )
Tabique durlock: 10 cm c/placa 12.5 mm	\$ 187.6/ m <sup>2</sup> (U\$S 40.8/m <sup>2</sup> )

Tomando en cuenta un muro con aislamiento térmico sobre el exterior, el costo total de los muros estará: \$ 271.9/m<sup>2</sup> (U\$S 59.1/m<sup>2</sup>) para el muro de ladrillón y \$ 351.2/m<sup>2</sup> (U\$S 76.3/m<sup>2</sup>) para la mampostería de bloques. Por lo tanto, el costo del cerramiento vertical exterior es de \$ 320/m<sup>2</sup> (U\$S 29.50/m<sup>2</sup>). En función de estos costos podemos ahora tomar en consideración las posibilidades que tienen los edificios en función de su forma, llegando a determinar la relación existente entre ellos.

## **2.- CONSIDERACIONES DE LA FORMA**

La forma de los edificios es en conjunto con las características termo-físicas de los materiales los elementos que el diseñador puede cambiar para optimizar el comportamiento térmico del edificio en una localidad determinada.

La forma del edificio también tiene peso sobre la cantidad de material involucrado en la construcción del edificio y por ende, en el valor monetario de la construcción del mismo. Sin embargo, no es muy común realizar una optimización de la forma siendo que para la arquitectura sustentable resulta importante en todos estos aspectos. Veamos un indicador que el proyectista

puede utilizar para optimizar la forma y con ello la consideración de los materiales de construcción y la eficiencia térmica a la vez.

### 2.3.- Factor de Área Envolvente/Piso

El Factor de Área Envolvente/Piso – FAEP, se calcula como muestra la ecuación 3, su unidad es (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) que se computa como la superficie de envolvente dividido por la superficie cubierta:

$$FAEP = \frac{ST + SM + Sve + Spu}{SCu} = \frac{m^2}{m^2}$$

(1)

Donde:

ST = superficie de techos (m<sup>2</sup>)

SM = superficie de muros (m<sup>2</sup>)

Sve = superficie de ventanas (m<sup>2</sup>)

Spu = superficie de puertas (m<sup>2</sup>)

SCu = superficie cubierta a calefaccionar (m<sup>2</sup>)

El valor óptimo del FAEP es variable dependiendo de la superficie cubierta, a mayor valor de superficie cubierta, menor valor del FAEP. Tomando la semiesfera como forma energéticamente eficiente, el FAEP es 2, o sea, 2 m<sup>2</sup> de superficie de envolvente por cada m<sup>2</sup> de superficie cubierta. Un edificio que posea este valor o menos, será un edificio energéticamente eficiente. Cuanto más próximo a 2 sea el FAEP menor será la superficie de envolvente, menores los costos de construcción y menor será la superficie de intercambio del edificio con su medio ambiente exterior.

### 3.- ESTUDIOS DE CASO

Se han estudiado casos típicos para conocer la variabilidad de los costos. Los casos típicos se refieren a dos tipos de viviendas (las más construidas) en el Centro Oeste de Argentina. Los elementos utilizados corresponden a aquellos necesarios para hacer uso de la energía solar y conservación de energía de la vivienda en esta zona geográfica, es decir, se utilizan muros aislados con 5 cm de poliestireno expandido, cubierta con 7.5 cm de aislamiento térmico de poliestireno expandido, aventanamientos con una superficie equivalente al 12% de la superficie cubierta, como indican los códigos. Esta tecnología en su

conjunto permite aprovechar la energía solar incidente hasta en un 80% de Fracción de Ahorro Solar (Esteves, 2007).

Estos casos se refieren a la vivienda individual en un solo nivel y tipo dúplex en dos niveles. Para todos los otros casos, se puede considerar que los costos se comportarán como resulta del presente análisis. Para este análisis se han tenido en cuenta los costos de la Tabla I.

**Tabla I:** costos de elementos de la envolvente e interiores (valores 01/2012)

<b>Elementos de la Envolvente:</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Muros exteriores	\$/m <sup>2</sup>	320.0
Techos	\$/m <sup>2</sup>	500
Ventanas	\$/m <sup>2</sup>	1300
Puertas	\$/m <sup>2</sup>	700
<b>Elementos Interiores:</b>		
Losa intermedia	\$/m <sup>2</sup>	473.1
Muros interiores	\$/m <sup>2</sup>	203.8
Piso	\$/m <sup>2</sup>	220.2
Instalaciones eléctricas., sanitarias (agua-cloacas), gas natural *	Global (%)	25%
Otros gastos: obrador, limpieza obra, seg.	%	5

### 3.1.- Costos relativos

Según Mascaró (1999), resulta conveniente tomar los costos agrupados por planos horizontales, planos verticales, instalaciones y otros. Los planos horizontales y verticales son propiamente en función de la forma del edificio y éstos son motivo frecuente de cambio para reducir costos. Las instalaciones al contrario, son motivo muy infrecuente de cambio para reducir costos. De este modo, Mascaró ha elaborado los costos de los edificios y ha calculado los costos relativos obteniendo la Tabla II. Se puede observar, que lo más caro que resulta son los correspondientes a planos verticales.

**Tabla II:** costos relativos de edificios. Fuente: Mascaró et al., 1999.

Clasificación del elemento	Composición	(%)
Elementos que forman planos horizontales	Parte horizontal de estructura y fundaciones, techo, pisos y parte horizontal de revestimientos y de pintura	26.79
Elementos que forman Los planos verticales	Parte vertical de estructura y fundaciones, mampostería, aberturas, revestimiento interior y exterior, parte vertical de pintura.	44.84
Instalaciones	Eléctrica, telefónica, hidráulica, gas, artefactos sanitarios, grifería y ascensor.	24.33
Otros	Instalaciones provisionales, limpieza de obra y otros trabajos no considerados	4.02

### 3.2.- Estudio de los costos relativos

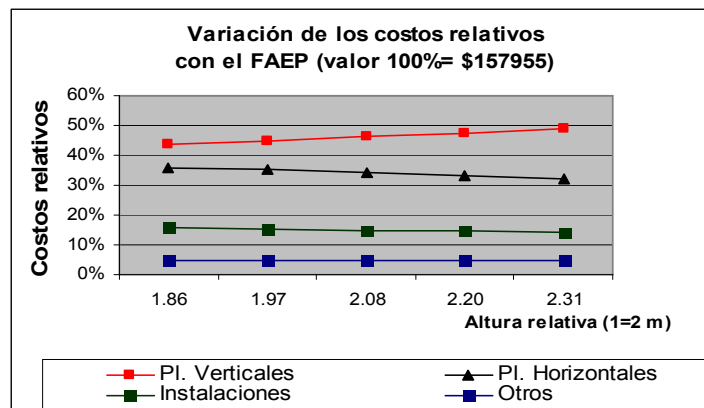
Se han estudiado los costos relativos para las tipologías de vivienda en una planta y en dos plantas, con las siguientes variantes:

- Variación de altura para los siguientes casos: 2.4 m, 2.6m, 2.8m, 3.0m, 3.2m todas de 100 m<sup>2</sup> de superficie cubierta para vivienda individual.
- Variación de altura para los siguientes casos: 2.4 m, 2.6m, 2.8m, 3.0m, 3.2m todas de 100 m<sup>2</sup> de superficie cubierta para vivienda en dúplex.
- Variación de la superficie cubierta de la vivienda individual.

Todos estos casos significan un cambio en el FAEP por lo tanto, se ha tenido en cuenta estos cambios y se calcula el aumento de costos relativos en función de la variación en el FAEP, de la altura, de la altura relativa y de la superficie cubierta. Además nos permitirá conocer la modificación de la proporción de los costos relativos en función de la variación de la forma a través del cambio en el FAEP.

#### 3.2.1.- Variación de la altura en vivienda individual

Se ha realizado el estudio de costos relativos con al variación en la altura del edificio para los siguientes casos: 2.4 m, 2.6m, 2.8m, 3.0m, 3.2m.



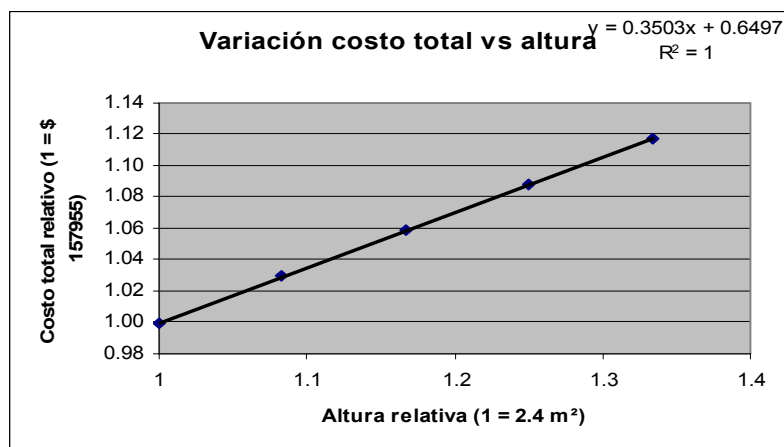
**Figura 1: variación de costos relativos para viviendas individuales en una planta.**

La superficie cubierta se ha mantenido en 100 m<sup>2</sup> de superficie cubierta para vivienda individual.

En este sentido, al aumentar la altura, la superficie vertical crece y consecuentemente crece el FAEP desde 1.98 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> hasta 2.31 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, es decir, que un aumento de altura de 33%, implica un aumento del FAEP del 16.67%. La Figura 1 muestra el cambio en los costos relativos en estos casos.

Por lo tanto, en una vivienda individual, en una sola planta, cuando la altura aumenta el 33%, los costos de planos verticales aumentan relativamente poco, de 35.9% a 40.0% y los costos totales resultan en un aumento desde el 100% al 109.4% (ver Figura 2). El costo de los planos horizontales baja de 34.5% al 31.7% y el correspondiente a instalaciones también, de 25.9% a 23.8%. Como se puede observar, la relación entre los costos relativos de los distintos elementos, no cambian sustancialmente al variar la altura, por lo tanto, podría tomarse la siguiente relación: planos verticales 37.4%, planos horizontales 33.0%, instalaciones 24.8%, otros 4.8%. Vemos que mientras mayor es el FAEP, ocasionado por un aumento de la altura, mayor relevancia tienen los costos de planos verticales y menor el de planos horizontales.





**Figura 2: variación de los costos relativos en función de la altura relativa**

Aquí se puede observar que cuando la altura aumenta un 33% (de 2.4 m a 3.2 m) en una vivienda individual, el costo total sólo aumenta 9.4%.

### 3.2.2 Variación de la altura en la vivienda en dos plantas – tipo dúplex

El caso de las viviendas dúplex, también se ha estudiado variando la altura 0.2 m desde 2.4 hasta 3.2 m (un 33% en el caso extremo) y manteniendo la superficie cubierta de 100 m².

En una vivienda en dúplex, los costos relativos de planos verticales son mayores que los correspondientes a una vivienda individual en PB, 40.7% para FAEP 2.08 en la vivienda en dúplex y 36.1% para FAEP 2.06 y vivienda en PB. Efectivamente, crecen las superficies verticales y disminuye el techo, aunque se aumenta un entrepiso pero su costo es menor que el techo completo.

Al igual que para la vivienda individual en PB, no existe una gran variabilidad en los costos relativos cuando cambia el FAEP, por lo tanto, los costos relativos se podrían tomar para FAEP 2.08 como el siguiente: planos verticales 40.7%, planos horizontales 30.0%, instalaciones 24.5%, otros 4.8%.

Al aumentar la altura de la vivienda dúplex, ante un cambio del 33% en la altura de la vivienda, se produce un cambio del 10.2% del costo total de la vivienda cuya superficie cubierta se mantiene en 100 m².

### 3.2.3. Variación del costo en función de la superficie cubierta

La Figura 3 muestra la variación de los costos relativos cuando la superficie cubierta pasa de 80 a 120 m<sup>2</sup>. Por supuesto, las instalaciones son las mismas, dado que el núcleo sanitario no cambia. Es probable que para 120 m<sup>2</sup> sea necesario otro baño, sin embargo, esto no está considerado. En este caso, los costos relativos de los planos horizontales se va incrementando con la superficie cubierta, mientras que los de los planos verticales queda constante.

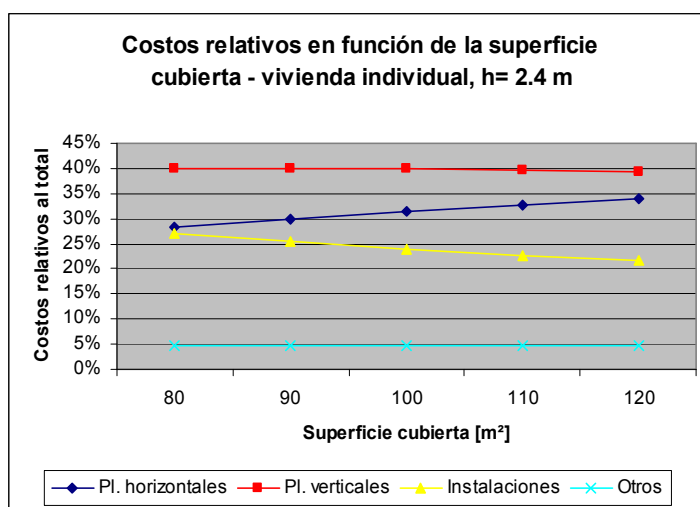


Figura 3: variación de costos relativos al incrementar la superficie

## 4.- CONCLUSIONES

Se han estudiado dos casos típicos de viviendas: individual y en dúplex con la idea de conocer la variabilidad de los costos de las mismas, cuando variamos la superficie de envolvente a través de variaciones en el FAEP. Se considera que estas viviendas se encuentran solarizadas, es decir, hacen uso de la energía solar y se encuentran ubicadas en el Centro-Oeste de Argentina. Los costos relativos se han agrupado de acuerdo a Mascaró (1999). Las conclusiones se podrían indicar como las siguientes:

- 1- Cuando el FAEP aumenta, a causa de aumentar la altura, los costos relativos de planos verticales aumentan en cualquier caso, ya sea vivienda individual o dúplex. Estos valores se pueden indicar como los siguientes: para la vivienda individual - planos verticales 37.4%, planos horizontales 33.0%, instalaciones

24.8%, otros 4.8%; para la vivienda en dúplex planos verticales 40.7%, planos horizontales 30.0%, instalaciones 24.5%, otros 4.8%.

- 2- Cuando el FAEP aumenta, dado que la superficie cubierta se reduce, los costos relativos de los planos horizontales disminuyen, manteniéndose los costos de los planos verticales. En este caso, la proporción entre los costos es la siguiente: planos horizontales 32%; planos verticales 40%; instalaciones 24% y otros 4% (para FAEP = 2). Estas figuras difieren de los valores dados por Mascaró sobretudo en planos horizontales 32 % en vez de 25% y en planos verticales 40% en lugar del 45%. Esto podría estar ocasionado por la diferente tecnología existente en Brasil (tomada por Mascaró) y la considerada en este trabajo del centro-oeste de Argentina.
- 3- Cuando la altura aumenta un 33%, los costos totales se incrementan sólo un 10% (aproximadamente) ya sea vivienda individual o dúplex; por lo tanto, resulta interesante observar que no se logra una reducción importante en costos. Si en materiales, indicados por el FAEP, lo que tiene mayor incidencia en el caso de construir barrios de varias viviendas.
- 4- Cuando la superficie cubierta aumenta hasta un 50%, el FAEP disminuye un 10%. Los costos específicos en este caso, se reducen un 12%.

En el caso de querer disminuir costos del edificio, no tiene caso trabajar disminuyendo la superficie cubierta, sino más bien, sobre los planos verticales, que son en cualquier caso los que tienen mayor incidencia (alrededor del 40% de los costos relativos). Por otro lado, disminuir la superficie cubierta, no sólo produce un aumento del costo específico por unidad de superficie, sino que la incidencia de los planos horizontales no es tan importante (del 29 al 34%), incrementándose la participación de la instalaciones en el costo final.

## 5.- REFERENCIAS

- a) Balcomb Douglas, 1981. Solar Energy Handbook. Cap. 10. Passive Solar Systems. J.Wiley.
- b) Jong-Jin Kim, Brenda Rigdon. 1998. Introduction to Sustainable Design. College of Architecture and Urban Planning. University of Michigan. *Published by* National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- c) Mascaró Juan Luis. 1999. O Custo das Decisoes Arquitetónicas. Ed. Universidad Federal de Porto Alegre. Porto Alegre. Brasil.
- d) Edwards Brian. 2006. Guia de la Sustentabilidad. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

- e) Esteves A., Gelardi D., Oliva A.L. 1997. The Shape in Bioclimatic Architecture. II Teaching in Architecture Conference. Cap. 3, pp. 12-18. Ed. Marco Sala. Florencia. Italia.
- f) Esteves A., Gelardi D. 2006. "Técnicas constructivas y materiales de bajo costo energético en la arquitectura sustentable. caso proyecto y construcción de vivienda en centro-oeste de argentina". Actas del XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construido (ENTAC 2006), pp. 3629-3638. Florianópolis 23 al 25 de Agosto. Brasil.
- g) Turuégano Romero J.A., Velasco Callay M.C., Martínez García A. 2009. Arquitectura Bioclimática y Urbanismo. Prensas Universitarias de Zaragoza. España.

#### **ABSTRACT**

The economy of the resources used in buildings, depends on the shape of the same one. On the other hand, the economy in the monetary cost of building it must be present in all constructions. The architectural decisions with respect to the economy of material resources, the energy demanded during the construction (through the used materials) and their monetary cost, constitute a combination of factors that are present later during all life of the building and it constitute a set of decisions that must be decided during the first stage of project. The variability of the relative monetary costs of two types of typical houses of Central-Western of Argentina has been studied. Conclusions are indicating that: in the case of like to diminish costs of the houses, it does not have case of working diminishing the surface covered. It is better to work on vertical planes, that it have greater incidence (around 40% of relative costs). On the other hand, to diminish the covered surface, not only produces an increase of the specific cost by surface unit, but that the incidence of the horizontal planes is not so important (from the 29 to 34%), being increased the participation of the installation facilities in the final cost.

#### **KEYWORDS**

Sustainable architecture, relative costs, efficient shapes of building.